

Thermische Transporteigenschaften

Michael Baenitz, Anders Bentien, Silke Paschen, Adriana Sanchez, Narayani Senthilkumaran, Mikhael Tchernikov, Steffen Wirth und Frank Steglich

Untersuchungen der thermischen Transporteigenschaften (Wärmeleitung, Thermospannung und elektrischer Widerstand) dienen im Forschungsbereich Festkörperphysik einerseits der Abschätzung eines möglichen Anwendungspotentials neuartiger Materialien (siehe *“Progress in Clathrate Research”*) und andererseits zum grundlegenden Verständnis korrelierter Elektronensysteme (siehe Beiträge zu *“The Kondo Insulator U_2Ru_2Sn ”, “Heavy Fermion Behavior in the System $EuCu_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ ”, “Decoupled Spin and Charge Degrees of Freedom in Yb_4As_3 ”*). Um der zunehmenden Zahl interessanter Verbindungen und der damit verbundenen Forschungsprojekte gerecht zu werden, wurde die apparative Ausstattung erheblich erweitert. Der erste Schritt bestand in der Erweiterung hinsichtlich hoher Temperaturen durch den Aufbau eines neuen Stickstoffkryostat-systems (bis 800 K) und der Implementierung der sogenannten 3ω -Methode zur Wärmeleitfähigkeitsmessung. Der Vorteil dieser Wechselstromtechnik ist, dass hier, im Gegensatz zur klassischen statischen Methode, fast keine Strahlungsverluste auftreten, was zu einer höheren Genauigkeit und kürzeren Messzeiten führt. In einem zweiten Schritt wurde die sogenannte TTO- Option (Thermal Transport Option) angeschafft und erfolgreich in eines unserer drei Multifunktionsmessgeräte (PPMS, Quantum Design) implementiert. Diese Option erlaubt eine schnelle Untersuchung hinreichend grosser Proben hinsichtlich ihrer thermoelektrischen Eigenschaften im Temperaturbereich von 2 K – 400 K mit akzeptabler Auflösung. Die bereits bestehenden Apparaturen (Mischkryostat und He-Kryostat) wurden hinsichtlich Auflösung und Messung sehr kleiner Proben zwar verbessert, es ist jedoch mittelfristig geplant, diese beiden alten Apparaturen vollständig zu ersetzen. Die Lieferung der neuen Systeme wird zur zweiten Jahreshälfte 2003 erwartet. Der



Abb. 1: Kryostat für Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen bis 800 K.

Figure 1. Cryostat for investigations of the thermal conductivity up to 800 K.

neue He-Kryostat zeichnet sich durch erhöhte Funktionalität aus, da nun auch Magnetfelder bis 8 Tesla zur Verfügung stehen und die Probe unter Vakuum im Feld gedreht werden kann. Messungen des thermischen Hall Effekts sind hier nun erstmalig möglich. Der neue Mischkühler zeichnet sich durch grössere Kühlleistung und kleinere Minimaltemperatur aus. Ferner wird der Probenwechsel durch neue Technik (*“sliding seal option”*) deutlich schneller. Abschließend sei noch ein weiteres Projekt zum thermischen Transport erwähnt. Hier gilt es, im mK-Bereich Wärmeleitfähigkeitsmessungen als Funktion des Winkels (zwischen Wärmestrom und Magnetfeld) zu untersuchen. Dies wird durch Superposition der Magnetfelder zweier supraleitenden Spulen erreicht, wobei die Spulen drehbar um den Kryostateinsatz angeordnet sind. Untersuchungen dieser Art lassen Rückschlüsse auf den Ordnungsparameter unkonventioneller Supraleiter zu. Dieses anspruchsvolle Projekt bedarf jedoch intensiver Planung, welche Anfang 2003 abgeschlossen sein sollte.

Thermal Transport

Michael Baenitz, Anders Bentien, Silke Paschen, Adriana Sanchez, Narayani Senthilkumaran, Mikhael Tchernikov, Steffen Wirth and Frank Steglich

Thermal transport measurements are used in the Solid State Physics research field both to characterize materials with potential for thermoelectric applications (see *“Progress in Clathrate Research”*) and to address fundamental physical questions (see *“The Kondo Insulator U_2Ru_2Sn ”, “Heavy Fermion Behavior in the System $EuCu_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ ”, “Decoupled Spin and Charge Degrees of Freedom in Yb_4As_3 ”*). The increasing number of materials for which thermoelectric properties have to be explored requires an expansion of our experimental facilities. In a first step we enlarged the temperature range up to around 800 K with a new nitrogen cryostat. In addition, we implemented the so-called 3ω method for thermal conductivity. The advantage of this ac technique in comparison to the standard static method is that there are no problems due to radiation at higher temperatures. The second step was the implementation of the new TTO (“thermal transport option”) in one of our three multi-purpose measurement systems (PPMS by Quantum Design). This allows a fast screening of most of the samples in the temperature range from 2 K – 400 K with reasonable resolution. Improvements of the two old devices (dilution refrigerator and He-cryostat) towards higher resolution have been realized, whereas in a third step a complete replacement of the two devices is planned. The drawback of the above described TTO option is that the samples have to be relatively large and that the user has only limited access to the measurement routines. Therefore, we have ordered an additional He gas-flow cryostat from Oxford Instruments. Here, home-made sample holders will be installed in which self-made computer control will allow for high flexibility. The system will be equipped with a split-coil superconducting 8 T magnet and a rotatable insert. With this particular setup we plan to perform thermal Hall effect measurements. Also the currently used home-made dilution refrigerator will shortly be replaced by a new system ordered from Air Liquide. The main advantage of the new system will be a lower base temper-

ature and more time efficiency due to the sliding seal option which allows a fast change of samples. Currently, we are planning to order a further dilution refrigerator to perform angular dependent thermal conductivity measurements. A special setup with two superconducting magnets generating fields in mutually orthogonal directions and a rotational stage allowing to rotate the magnets together with the dewar around the dilution insert will allow to probe the order parameter in 2D superconductors.

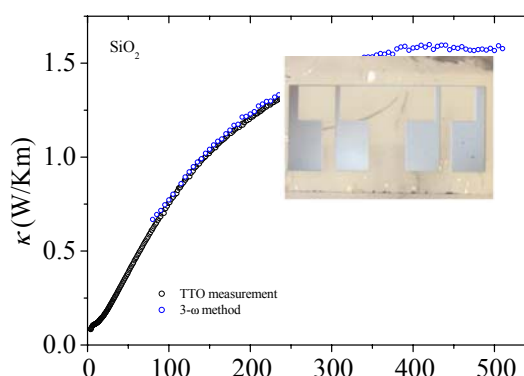


Fig. 2: Thermal conductivity as function of temperature of silica (SiO_2 , VYCOR, Goodfellow). Black data points are obtained using the TTO option for the PPMS, blue data points are collected using the 3ω method. A very good agreement between the two methods is seen. In the inset a picture of the metal film (Platinum) evaporated onto the Silica sample is presented. The total length is approximately 4 mm, the width (between the two inner contacts) is 20 μm and the thickness is approximately 40 nm. The resistivity at 300 K is approximately 100 Ω .
Abb. 2: Wärmeleitfähigkeitsmessung an Siliciumdioxid (VYCOR, Goodfellow). Die Daten zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen der konventionellen Methode wie sie in der TTO Option der PPMS Geräte genutzt wird und der neuartigen 3ω -Methode. Der Inset zeigt den auf die Probe aufgedampften Metallfilm (Platin) mit den vier Abgriffen für Strom (I^+ , I^-) und Spannung (U^+ , U^-). Der Film hat eine Gesamtlänge von 4 mm, eine Breite von 20 μm und eine Dicke von 40 nm. Der Widerstand bei Raumtemperatur beträgt etwa 100 Ω .